不同生育期芦竹的营养价值及体外产气特征

欧阳富龙[1] 陈 福[1] 彭媛媛[1] 蔡懿鑫[1] 肖 亮[2] 易自力[2] 贺建华[1*]

（1 湖南农业大学动物科技学院，长沙 410128；2 湖南农业大学农学院，长沙 410128）

摘 要：本试验旨在探究不同生育期芦竹的营养价值及体外产气特征。采用常规分析法测定生育期分别为 75、90、105、120、135 d 的整株芦竹、芦竹茎、芦竹叶的营养成分含量；用体外产气法测定芦竹体外发酵 72 h 的发酵液 pH、干物质消失率（DMD）、中性洗涤纤维消失率（NDFD）和酸性洗涤纤维消失率（ADFD）以及产气量（GP）和产气动态参数。结果表明：1）随着生育期的推移，整株芦竹的粗蛋白质含量逐渐降低，中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）及酸性洗涤木质素（ADL）含量呈升-降-升的波浪状变动，但总体呈上升趋势；茎、叶中的营养成分含量波动较大。2）随生育期的推移，DMD、NDFD 和 ADFD 逐渐降低，75 d 与 90 d 差异不显著（$P>0.05$)，这 2 者显著或极显著高于 105、120 d（$P<0.05$ 或 $P<0.01$)。3）随着生育期的推移，最大 GP 呈现递减形式，其中 75 d 与 90 d 无显著差异（$P>0.05$)，二者均显著或极显著低于其他生育期（$P<0.05$ 或 $P<0.01$)，其中 105、120 和 135 d 的最大 GP 分别比 90 d 低了 40.22%、50.98%和 51.53%；产气速度呈现相似的变化趋势。综合得出，芦竹做为牧草的最佳生育期为 90 d。

关键词：芦竹；不同生育期；营养价值；体外产气法

中图分类号：S816

近年来，伴随着经济的不断发展，畜牧业在国民经济中的地位也变得越来越重要，加上我国畜牧养殖基数巨大，据统计我国每年需干草总量约 1 000 万 t，但生产能力只有 200 万 t，因此我国每年需要从国际市场进口的干草至少达 500 万 t，其中仅日本、韩国每年进口量就达 20 万 t 以上[1]。由此可见，我国牧草开发工作迫在眉睫。当前，在我国高蛋白质含量草产品饲料高度紧缺的情况下，发掘和利用高产量、高蛋白质含量的禾本科牧草将是及时而且有效的措施[2]。

芦竹(*Arundo donax*)，属芦竹属，高大禾本科的多年生植物。茎干直立，叶片大而扁平，

收稿日期：2017-03-05

作者简介：欧阳富龙（1990-），男，湖南衡阳人，硕士研究生，研究方向动物营养与饲料科学。E-mail: yang117371@163.com

*通信作者：贺建华，教授，博士生导师，E-mail： 8957323001@qq.com

植株可高达 2~6 m，在我国分布广泛，尤其以南方江浙一带居多。芦竹繁殖性能强且生长快，2 月龄株高可达 1.8 m，叶片长可达 20 cm，宽可达 10 cm，单株鲜重可达 490 g。成熟后单位面积产量可达每年每公顷 40 t，在灌溉和施肥的情况下可达到 60~80 t，甚至更高。我国自古就有利用芦竹嫩叶做牧草喂养动物的习惯，然而禾本科植物随着生长木质素含量会越来越高，而芦竹在抽穗期后纤维素含量迅速上升到 30%，木质素含量为 13%~20%[3]。而木质素含量增高则势必影响饲粮的适口性和营养物质的吸收[4]。因芦竹抗逆性好、产量高、燃烧热值大，且生长后期纤维含量极高，发酵产沼气量大，当前主要作为能源植物开发。当前有极少关于生育前期芦竹木质素及其他营养成分含量变化规律的研究，且没有任何关于其瘤胃发酵性能的研究报道。这导致了芦竹在种植过程中会出现刈割时间不明确，作为饲料的投料量无从估计等问题。因此，有必要对生育前期芦竹的营养成分含量变化规律进行研究，为其牧草资源化开发提供依据。若能将此高产能源草开发成牧草，则能在一定程度上缓解我国特别是南方地区牧草不足的现象。

1 材料与方法

1.1 草样采集与处理

在湖南农业大学芒属植物资源圃中，选用正常供水供肥的第 5 年生芦竹。于拔节期结束后至抽穗期前，每隔 15 d 生育期采集 1 次样品，即 2016 年 5 月下旬（生育期 75 d）、6 月上旬（生育期 90 d）、6 月下旬（生育期 105 d)、7 月上旬（生育期 120 d）、7 月下旬（生育期 135d）共 5 个时间点的样品，采样留茬高度 2 cm，采集后去掉接近地面少量枯黄的叶片，随后茎、叶分离，分别称重后迅速放入（120±1） ℃干燥箱杀青 20 min，随后 65 ℃烘干，粉碎过 40 目筛，室温保存，四分法取样待测。

1.2 体外产气试验

试验在中国科学院亚热带研究所进行，采用健康、体重相近装有永久瘘管的 3 头浏阳黑山羊做瘤胃液供体，饲养水平为 1.5 倍维持需要。采样前 1 天下午将瘤胃液供体羊喂料量减至 1/2，并供给充足饮水。于第 2 天清晨，由瘘管采集 3 头空腹羊的瘤胃液并混合，用保温瓶装好迅速返回实验室并利用 4 层纱布过滤，取过滤液，待用。

参照 Menke 等[5]的方法配制人工唾液，将 19.920 g $NaHCO_3$、2.280 g NH_4HCO_3、8.168 g $Na_2HPO_4\cdot 12H_2O$、3.516 g KH_2PO_4、0.340 g $MgSO_4\cdot 7H_2O$、19.920 g $NaHCO_3$、0.792 mL 刃天

青、0.288 mL 微量元素溶液放入装有 2.4 L 蒸馏水的玻璃瓶中，在 39.5 ℃下用磁力搅拌器搅拌，并持续通入 CO_2。在搅拌 2 h 后加入 5 mL 还原剂。然后加入过滤后的瘤胃液 600 mL。搅拌几分钟后，用取液器精准取 30 mL 放入加了 200 mg 样品的 100 mL 的注射器中。然后用凡士林密封注射器针头端。每个样品 3 个重复，每个重复 1 只注射器。并设 3 个只未装样品仅发酵液的注射器为空白对照，以减少试验误差。最后将注射器放入（39.2±0.1） ℃的恒温振荡水浴器中培养。

1.3 测定指标及计算方法

1.3.1 常规营养成份含量

按贺建华[6]主编的《饲料原料分析与检测》分析常规营养成分含量，干物质(dry matter,DM)含量测定采用直接烘干法；粗蛋白质(CP)含量测定采用凯氏定氮法；粗灰分(Ash)含量测定采用马福炉灼烧法；中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维（ADF)、酸性洗涤木质素（ADL）含量测定采用 Van Soest 纤维分析法。

中性洗涤溶解物（NDS）=1-ADF。

1.3.2 体外发酵指标

分别测量体外发酵 3、6、9、12、18、24、36、48、56、72 h 共 10 个点的产气量(GP)。待发酵 72 h 后，立即将注射器转移到冰水中停止发酵。随后测定发酵液的 pH，采用雷氏 pH 计测定；用纱布抽滤发酵液，并用蒸馏水冲洗注射器收集发酵残渣，以测干物质消失率（DMD）。根据以下公式计算酸性洗涤纤维消失率（ADFD）和中性洗涤纤维消失率（NDF）：

某物质的消失率（%）=100-100×某物质体外发酵后含量×DMD/某物质发酵前的含量。

1.3.3 体外产气指标

采用以下公式计算 GP：

某时段的 GP（mL)=某时段的样品注射器内气体体积-某时段对应空白管内气体体积；

采用以下模型计算产气动态参数：

$$y=B[1-e^{-c(t-lag)}]。$$

式中：y 为 t 时间点 200 mg 发酵底物的 GP（mL)；B 为 200 mg 发酵底物的最大 GP（mL)；c 为样品产气速度（mL/h）；lag 为产气延滞期（h）。

1.4 数据统计分析

试验数据采用 SPSS 13.0 软件进行统计分析，采用单因素方差分析，用 Duncan 氏法进行多重比较。试验数据用平均值±标准差表示，$P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同生育期芦竹营养成分含量

从表 1 可以看出，随着生育期的推移，整株芦竹的 CP 含量波动较大（$P<0.05$），其中以 75 d 含量较高，120 d 最低。CP 含量突减期为 90~105 d，含量由 8.92%突减到 4.38%，降低了 50.90%，随后在 135 d 有所提升，但幅度不大。不同生育期整株芦竹的 EE 含量没有显著差异（$P>0.05$）。总体来看，整株芦竹 NDF、ADF、ADL 含量都随着生育期的推移而上升，但在生育 120 d 会有一个下降的过程，随后 135 d 时迅速升高。其中 ADL 含量在生育 135 d 迅速升高到 8.29%，升高了 50.73%，这必将会影响其适口性。

表 1 不同生育期整株芦竹营养成分含量（风干基础）

Table 1 Nutrient contents of whole plant *Arundo donax* in different growth periods （air-dry basis） %

项目 Items	生育期 Growth period/d				
	75	90	105	120	135
粗蛋白质 CP	9.36 ± 0.43^{d}	8.93 ± 0.20^{c}	4.38 ± 0.09^{a}	3.11 ± 0.02^{a}	4.93 ± 0.08^{ab}
粗脂肪 EE	7.52 ± 0.64	7.24 ± 0.88	7.53 ± 0.61	6.66 ± 0.59	6.56 ± 0.34
粗灰分 Ash	5.45 ± 0.18^{a}	5.56 ± 0.16^{a}	6.43 ± 0.04^{c}	5.79 ± 0.07^{b}	5.90 ± 0.06^{b}
中性洗涤纤维 NDF	64.38 ± 1.67^{a}	65.38 ± 1.08^{a}	71.16 ± 0.97^{b}	66.93 ± 0.95^{a}	71.19 ± 0.48^{b}
酸性洗涤纤维 ADF	37.46 ± 1.30^{a}	42.02 ± 0.50^{b}	42.98 ± 0.4^{c}	38.82 ± 0.18^{a}	43.55 ± 0.72^{bc}
酸性洗涤木质素 ADL	4.17 ± 0.81^{a}	4.59 ± 0.52^{a}	6.65 ± 0.11^{c}	5.50 ± 0.41^{b}	8.29 ± 0.46^{d}
中性洗涤溶解物 NDS	54.58 ± 0.63^{a}	57.98 ± 0.50^{b}	57.02 ± 0.45^{a}	61.18 ± 0.18^{c}	56.45 ± 0.72^{a}

同行数据肩标相同字母表示差异不显著（$P>0.05$），相邻字母表示差异显著（$P<0.05$），相间字母表示差异极显著（$P<0.01$）。表 2~表 4 同。

In the same row, values with the same letter superscripts mean no significant difference （$P>0.05$）, with adjacent letter superscripts mean significant difference （$P<0.05$）, while with alternate letter superscripts mean extremely significant difference （$P<0.01$）. The same as Table 2 to Table 4.

从表 2 可以看出，芦竹叶是一种比较优质的高蛋白质含量牧草资源，其 90 d 前的 CP 含量在 13.05%以上，含量最低时也有 6.73%，且其在 135 d 后 CP 含量又回升到 12.71%，75、90、135 d 之间差异不显著（$P>0.05$），其他生育期均差异显著（$P<0.05$）。不同生育期芦竹叶 NDF、ADF、ADL 含量虽然波动大，但含量并不高。

表 2　不同生育期芦竹叶营养成分含量（风干基础）

Table 2　Nutrient contents of leave of *Arundo donax* in different growth periods　（air-dry basis）　　%

项目 Items	生育期 Growth period/d				
	75	90	105	120	135
粗蛋白质 CP	14.16±0.68^{d}	13.05±0.51^{d}	8.87±0.02^{a}	6.73±0.01^{b}	12.71±0.41^{d}
粗脂肪 EE	8.34±0.78^{b}	8.04±0.76^{ab}	8.96±0.87^{b}	7.63±0.57^{a}	7.49±0.32^{a}
粗灰分 Ash	4.98±0.52^{a}	5.55±0.39^{a}	10.69±0.02^{d}	10.06±0.15^{c}	8.79±0.02^{b}
中性洗涤纤维 NDF	56.35±0.74^{a}	58.55±0.85^{a}	57.38±1.16^{a}	57.89±0.4^{a}	63.75±2.04^{b}
酸性洗涤纤维 ADF	30.31±0.47^{b}	31.16±0.24^{b}	27.56±1.74^{a}	30.21±1.48^{b}	33.76±0.98^{c}
酸性洗涤木质素 ADL	3.68±0.05^{b}	3.77±0.03^{b}	2.13±0.19^{a}	2.53±0.82^{d}	3.72±0.18^{b}
中性洗涤溶解物 NDS	69.69±0.46^{b}	68.84±0.24^{b}	72.44±1.74^{c}	69.79±1.48^{b}	66.24±0.98^{a}

从表 3 中可以看出，芦竹茎的 CP 含量比较低，最高只有 2.37%，而 NDF、ADF、ADL 及 NDS 的含量都相对较高。

结合表 1、表 2、表 3 可以看出，随生育期推移，芦竹 CP、EE 含量降低，ADL、NDF、ADF 含量升高。这主要是因为其茎部 CP 的含量不高，且随着生育期的推移而迅速木质化有关。

表 3　不同生育期芦竹茎营养成分含量（风干基础）

Table 3　Nutrient contents of stem of *Arundo donax* in different growth periods　（air-dry basis）　　%

项目 Item	生育期 Growth period/d				
	75	90	105	120	135
粗蛋白质 CP	2.37±0.13^{c}	2.21±0.04^{c}	1.74±0.13^{a}	2.44±0.02^{d}	1.90±0.09^{b}
粗脂肪 EE	6.67±0.38	6.62±0.98	6.69±0.47	6.41±0.59	6.20±0.35
粗灰分 Ash	6.13±0.05^{c}	5.56±0.01^{c}	3.93±0.06^{a}	4.98±0.06^{b}	4.78±0.07^{ab}
中性洗涤纤维 NDF	68.36±1.23^{a}	70.63±2.56^{b}	79.25±0.87^{d}	67.72±1.13^{a}	74.08±0.58^{c}
酸性洗涤纤维 ADF	49.17±0.87^{b}	50.39±0.9^{c}	52.03±0.31^{d}	39.87±0.16^{a}	47.36±0.62^{b}
酸性洗涤木质素 ADL	4.98±0.67^{a}	5.23±0.94^{a}	9.3±0.15^{b}	5.96±0.60^{a}	10.06±0.59^{b}
中性洗涤溶解物 NDS	50.83±0.78^{b}	49.61±0.9^{ab}	47.97±0.31^{a}	60.13±0.16^{d}	52.64±0.62^{b}

2.2　不同生育期芦竹的体外发酵指标

从表 4 可以看出，pH 随着生育期的推移呈现上升态势，105 d 显著高于 75、90 d（P<0.05），120、135 d 显著高于其他生育期（P<0.05）。DMD 以 75 d 最高达到 71.12%，而在 105 d 时下降到 64.44%；而 120 d 相比 105 d，DMD 下降得稍微平缓，变化不显著（P>0.05）；而 135 d 相比 120 d，DMD 显著上升（P<0.05）。ADFD 和 NDFD 都会随生育期的推移而降低。

表 4　不同生育期芦竹体外发酵指标（发酵底物 200 mg）

Table 4 Indexes of *in vitro* fermentation of *Arundo donax* in different growth periods （200 mg substrate）

项目 Items	生育期 Growth period/d				
	75	90	105	120	135
发酵液 pH Fermentation fluid pH	6.37±0.12[a]	6.40±0.02[a]	6.51±0.03[b]	6.62±0.02[c]	6.65±0.03[c]
干物质消失率 DMD/%	71.12±1.20[b]	70.00±0.02[b]	64.44±0.04[a]	62.13±0.22[a]	68.13±0.04[b]
酸性洗涤纤维消失率 ADFD/%	8.51±1.17[c]	8.23±0.14[c]	6.32±1.72[b]	3.21±0.85[a]	3.03±1.23[a]
中性洗涤纤维消失率 NDFD/%	24.63±1.03[a]	23.47±0.46[a]	15.22±0.05[b]	14.36±1.16[b]	13.24±0.85[b]

2.3 不同生育期芦竹的体外产气指标

从图 1 可以看出，不同生育期的芦竹其体外 GP 也存在不同。从 GP 波动性来看，芦竹体外发酵 18 h 内 GP 增加较快，即产气速度快，在后期趋于平稳状态。且生育期为 105 d 的芦竹 GP 在 48 h 之后趋于稳定，而生育期为 75 和 90 d 的芦竹 GP 在 24~72 h 仍变化较大，在 48 h 后仍有一个增长期，在 56 h 之后趋于稳定。

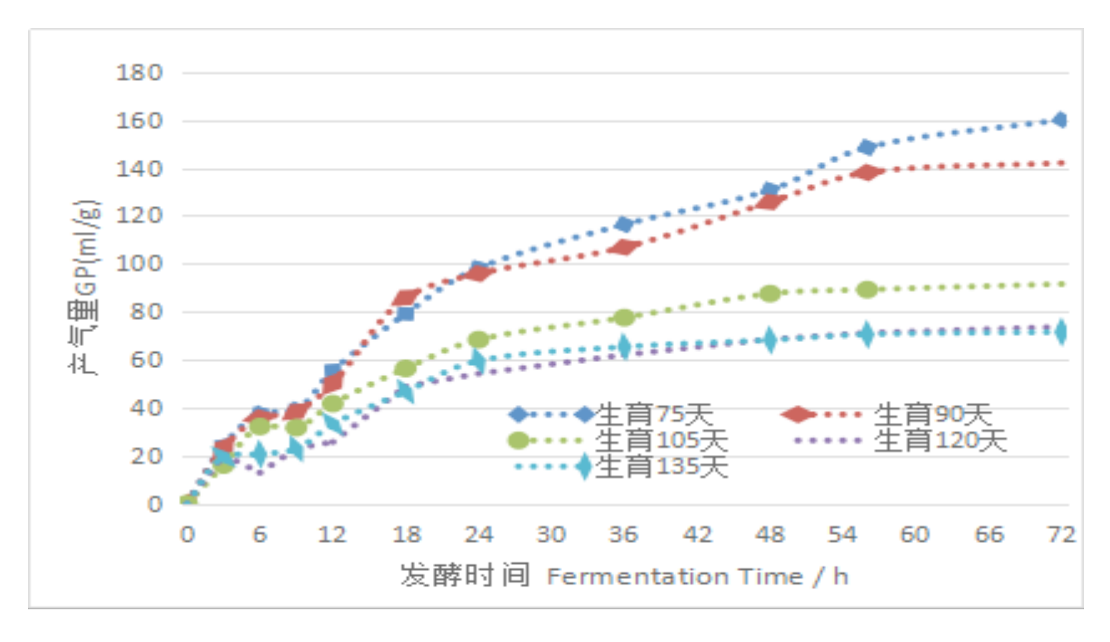


图 1 不同生育期芦竹体外发酵动态产气量（干物质基础）

Fig.1 Dynamic GP of *in vitro* fermentation of *Arundo donax* in different growth periods (DM basis)

从表 5 可以看出，不同生育期芦竹的最大 GP 差别较大，随着生育期的推移，最大 GP 呈现递减形式，其中 75 d 与 90 d 无显著差异（P>0.05），二者均显著低于 105 d（P<0.05），极显著低于 120、135 d（P<0.01）。产气速度呈现相似的变化趋势。

表 5 不同生育期芦竹体外发酵指标

Table 5 *In vitro* GP parameters of *Arundo donax* in different growth periods

项目 Items	生育期 Growth period/d				
	75	90	105	120	135

产气量 GP/mL					
24 h	21.67±0.37[a]	19.17±0.37[ab]	13.83±1.68[c]	10.80±0.43[c]	11.07±0.45[c]
48 h	28.33±1.2[a]	25.14±0.42[b]	17.51±0.34[cd]	13.70±0.32[d]	13.64±0.51[d]
72 h	34.62±0.87[a]	32.23±0.37[a]	18.31±0.15[b]	14.74±0.26[c]	14.31±0.35[c]
最大产气量 Maximum GP	34.64±0.73[a]	32.25±0.85[a]	19.28±0.35[bc]	15.81±0.45[c]	15.63±1.02[c]
产气速度 GP rate/(mL/h)	0.051[a]	0.049[a]	0.038[b]	0.026[c]	0.026[c]
产气延滞期 GP lag phase/h	0.368[bc]	0.387[b]	0.421[ab]	0.463[a]	0.464[a]

3 讨 论

3.1 不同生育期芦竹营养成分含量

牧草的品种、生育期及生长环境和自身的遗传因素都会影响其营养成分含量的变化。裴彩霞等[7]研究发现，牧草随着生育期的推进，CP、Ash 的含量会逐渐下降，而 NDF 与 ADF 含量逐渐上升。张桂杰等[8]应用体外产气法对紫花苜蓿、草木樨以及野豌豆的不同生育期的营养价值进行评定，结果表明，3 种植物的 CP 含量会随着生育期延长而下降，且差异极显著，ADF、NDF 的含量有增长趋势。黄煌兴[9]也得到了相同的结果。以上结果均表明，随着生育期的推移，植物的 CP 含量会逐渐下降，而 ADF、NDF 含量会逐渐上升。

本次试验所采的样品均来自同一种植地，因此样品各营养成分含量的变化主要是生育期造成的。本试验中，随着生育期不断推移，整株芦竹 CP 含量迅速下降，这与前面几位研究结果一致。这是因为禾本科植物在营养生长阶段，新叶面积增长、光合作用加强，蛋白质沉淀较快，而在生育后期蛋白质沉淀变慢，其他物质沉淀速度增加，使 CP 含量相对降低[10]。而 ADF、NDF 以及 ADL 含量在生育 120 d 存在降低的现象，这可能因为芦竹属于碳 4 植物，7 月初的光照强度突然增大，刺激其短时间茎、叶生长。但整体看来，ADF、NDF 以及 ADL 含量都在不断升高，这是由于禾本科植物会随着生育期推移不断木质化。张桂杰等[8]在对 6 种禾本科植物不同生育期营养价值变化的研究中也得到了相同结果。茎、叶中的营养成分含量变化波动大，特别是茎和叶中的 Ash，随生育期延长，总体呈降低趋势。可能是因为灰分中主要含有矿物质元素，而植物中的矿物质元素是可以整体调动的，一般由老叶流向新叶，由旧组织流向新组织。这与杨信等[11]的研究结果是一致的。也就是说，芦竹能带走土壤肥力，而从本试验结果来看，芦竹的 Ash 含量较大。但本试验未测定灰分中微量元素的含量，因此未能确定的主要矿物质元素含量。

CP 含量是评定饲料营养价值高低的主要指标之一。CP 含量越高，牧草营养价值越高。本试验测得芦竹的 CP 在生育 70 d 前较高，随后呈下降趋势。这与陈碧成等[12]的研究结果

是一致的。我国常见优质牧草紫花苜蓿的 CP 含量为 17.3%~21.2%，而芦竹 CP 含量能达 8%~9%，其 CP 含量虽比紫花苜蓿少，但与青玉米的含量(7%~10%)[13]相当。芦竹叶 CP 含量最高达 15%，可单独做优质的高蛋白质含量牧草使用。纤维物质含量高低也是牧草营养价值高低的一个重要指标。NDF 可以影响适口性与采食量，NDF 越高则适口性越差，采食量则下降。本试验中，生育期为 90 d 的整株芦竹 NDF 含量为 65.38%，这与开花期的羊草（含量为 64.79%）、野燕麦（含量 65.35%）[14]相当，但在 135 d，NDF 含量攀升到 71.19%，ADL 含量也高达 8.29%。由此看来，生育 90 d 前的芦竹营养成分含量与当前常用的牧草相当，且在此时期单株重可达 400 g，具有产量优势，因此具有牧草资源开发价值。生育期在 105 d 以后，因 NDF、ADF 特别是 ADL 含量的升高，影响其采食量与消化率，可能不再适宜做牧草。

3.2　不同生育期芦竹的体外发酵指标

DMD 是评定反刍动物饲料营养价值的重要指标。研究表明，禾本科牧草随着生育期的推移，DMD 会逐渐下降[15]。而 NDF 及 ADF 是反刍重要的能量来源，其可以被瘤胃微生物发酵生成挥发性脂肪酸（VFA）、甲烷以及 ATP 等物质[16]。因此，NDFD 及 ADFD 是纤维物质在反刍动物体内消化程度的主要参考指标。本试验种，从生育期 75 d 至生育期 120 d，芦竹的 DMD 由 71.12%下降到 62.13%，存在显著差异，而 NDFD 及 ADFD 也呈现相同态势。这可能是因为随着生育期的推移，芦竹的 NDF、ADF 以及 ADL 的含量升高，造成植物细胞难以破壁而被瘤胃微生物发酵。pH 是评定瘤胃代谢的重要指标，其综合反映瘤胃发酵代谢产物有机酸的产生、吸收、中和的情况[17]。正常的 pH 一般在 6~7，若瘤胃液 pH 常时低于 5.5，则会导致反刍动物酸中毒[18]。而本试验中，不同生育期的芦竹其发酵液 pH 均在 6.37~6.65，因此不会导致酸中毒现象。

3.3　不同生育期芦竹的体外产气指标

体外产气法是通过体外产气装置模拟瘤胃发酵，并通过对发酵所产生的气体来评估牧草营养价值的一种高效的模拟方法[19]。瘤胃产的气体主要是由瘤胃微生物发酵可溶性碳水化合物及其他营养物质产生的低级脂肪酸、甲烷和氢气等组成[20]。研究表明，瘤胃发酵 GP 与 VFA 产量之间具有正相关，而与微生物量呈负相关[1]，这提示生育 90 d 以前的芦竹可能具有较高的瘤胃发酵 VFA 产量。郭春燕等[21]、李文娟等[22]利用体外产气法对精料、经济作物

以及甘蔗渣的营养价值进行了评定，均取得较为客观的结果。本试验结果表明，随着生育期的推移，芦竹的体外发酵 GP 也随之降低，从生育期 75 d 到生育期 135 d，其最大 GP 由 34.64 mL 下降到 15.63 mL，下降了 54.88%。这与随着生育期的推移，禾本科植物的 CP、EE 含量降低有关。本试验表明，GP 与 DMD 呈正相关，这与 Khazaal 等[23]、Tuah 等[24]的研究结果一致。其原因是可能是牧草中的蛋白质等营养物质发酵后具有更高的缓冲能力和产生较少气体。

产气速度和延滞期是瘤胃产气动态模型的重要参数，其能直接反映牧草在瘤胃内的动态消化情况[25]。本试验中，不同生育期的芦竹产气速度与延滞期差别较大。以生育前期产气速度大，而生育后期则相对较慢。总体来看，75 和 90 d 的 GP 大约在发酵 72 h 趋于稳定，而 90~135 d 刈割的芦竹在发酵 48 h 后 GP 基本趋于稳定状态，这可能与不同生长时期芦竹的可溶部分和不可溶部分含量不一有关，这与唐一国等[26]报道的结果是一致的。

4 结 论

① 拔节期后至抽穗期前，不同生育期的芦竹茎、叶中营养成分含量差别较大，其主要原因是随着生育期的推移其茎部迅速木质化。

② 芦竹的叶 CP 含量高，纤维物质含量低，可作为一种优质饲料原料。

③ 综合 CP 含量以及 GP 等指标考虑，芦竹做牧草应该在的生育 90 d 前刈割最为合适。

参考文献：

[1] 曹志军,史海涛,李德发,等.中国反刍动物饲料营养价值评定研究进展[J].草业学报,2015,24(3):1–19.

[2] 崔卫东,董朝霞,张建国,等.不同收割时间对甜玉米秸秆的营养价值和青贮发酵品质的影响[J].草业学报,2011,20(6):208–213.

[3] 中国植物志编委员会.中国植物志[M].北京:科学出版社,2002.

[4] 欧阳富龙,张光磊,彭媛媛,等.粗纤维饲粮在单胃动物饲料中的应用[J].饲料研究,2016(7):5–9.

[5] MENKE K H,RAAB L,SALEWSKI A,et al.The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*[J].The Journal of Agricultural

Science,1979,93(1):217–222.

[6] 贺建华.饲料分析与检测[M].2 版.北京:中国农业出版社,2011.

[7] 裴彩霞,董宽虎,范华.不同刈割期和干燥方法对牧草营养成分含量的影响[J].中国草地学报,2002,,24(1):33–37.

[8] 张桂杰,王红梅,罗海玲,等.应用体外产气与活体外消化法评定不同生育期禾本科牧草营养价值[J].中国畜牧杂志,2012,48(23):60–63,70.

[9] 黄煌兴.狼尾草属牧草营养价值及其人工瘤胃降解特性研究[D].硕士学位论文.福州:福建农林大学,2007.

[10] 周汉林,李琼,唐军,等.海南不同地区几种热带牧草的营养价值评定[J].草业科学,2006,23(9):41–44.

[11] 杨信,黄勤楼,夏友国,等.六种狼尾草营养成分及瘤胃降解动态研究[J].家畜生态学报,2013,34(5):56–60.

[12] 陈碧成,林洁荣,罗宗志,等.绿洲 1 号芦竹营养成分变化规律研究[J].黑龙江畜牧兽医,2016(4):133–135,141.

[13] 季丽萍,郭丽珠,刘新,等.瑞香狼毒营养成分分析与评价[J].草业学报,2016,25(1):262–267.

[14] 姬奇武,韩汝旦,董宽虎,等.不同生长期白羊草的营养成分及绵羊瘤胃降解特性[J].草地学报,2015,23(6):1295–1302.

[15] 于杰,郑琛,李发弟,等.向日葵秸秆与全株玉米混合青贮饲料品质评定[J].草业学报,2013,22(5):198–204.

[16] 刘太宇,聂芙蓉,刘庆华,等.黄河滩区 6 种牧草不同生育期粗蛋白和氨基酸含量的动态分析[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(1):11–16.

[17] 白玉龙,姜永,赵剑平,等.禾本科牧草与豆科牧草营养成分比较[J].当代畜牧,2007(12):34–35.

[18] 杨俊霞,毛华明.测定反刍动物采食量和消化率的方法——饲料营养成分估测法[J].饲料博览,2008(12):20–22.

[19] 余苗.不同生长期两种牧草瘤胃降解率及体外发酵产气特性的研究[D].硕士学位论文.长

沙:湖南农业大学,2013.
[20] 许琴.利用体外产气法研究玉米秸秆瘤胃发酵的影响因素[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2002.
[21] 郭春燕,闫云峰,马全磊,等.基于体外瘤胃产气法评价四种精料的营养价值[J].黑龙江畜牧兽医,2016(6):148–150.
[22] 李文娟,王世琴,朱正廷,等.体外产气法评定 4 类南方经济作物叶片的饲料价值[J].粮食与饲料工业,2016,12(9):46–52.
[23] KHAZAAL K,DENTINHO M T,RIBEIRO J M,et al.A comparison of gas production during incubation with rumen contents *in vitro* and nylon bag degradability as predictors of the apparent digestibility *in vivo* and the voluntary intake of hays[J].Animal Production 1993,57(1):105–112.
[24] TUAH A K,OKAI D B,ØRSKOV E R.*In sacco* dry matter degradability and *in vitro* gas production characteristics of some Ghanaian feeds[J].Livestock Research for Rural Development,1996,8(1):23–33.
[25] 梁欢,刘贵波,吴佳海,等.混贮模式对高丹草青贮发酵品质及体外产气动力学特性的影响[J].草业学报,2016,25(4):188–196.
[26] 唐一国,龙瑞军,毕玉芬.体外产气法在评定草食家畜饲料营养价值上的应用[J].草食家畜,2003(2):47–49,53.

Nutrition Values and *in Vitro* Gas Production Characteristics of *Arundo donax* in Different Growth Periods

OUYANG Fulong[1] CHEN Fu[1] PENG Yuanyuan[1] CAI Yixin[1] XIAO Liang[2] YI Zili[2] HE Jianhua[1*]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Hunan Agricultural University*， *Changsha* 410128, *China*; 2. *College of Agronomy, Hunan Agricultural University*， *Changsha* 410128, *China*)

Abstract： This study was conducted to explore nutrition values and *in vitro* gas production

*Corresponding author， professor， E-mail： 8957323001@qq.com （责任编辑 王智航）

characteristics of *Arundo donax* in different growth periods. Whole plant, leave and stem of *Arundo donax* in different growth periods (75, 90, 105, 120 and 135 d) were determine for nutrient contents by conventional analysis methods; fermentation fluid pH, dry matter disappearance rate (DMD), neutral detergent fiber disappearance rate (NDFD) and acid detergent fiber disappearance rate (ADFD), as well as gas production (GP) and GP dynamic parameters of *Arundo donax* were determined after fermented for 72 h by an *in vitro* GP method. The results showed as follows: 1) with the extension of growth period, in whole plant of *Arundo donax*, crude protein content was gradually decreased, and neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and acid detergent lignin (ADL) contents showed up - down - up of wave shape changes, but overall is on rise; nutrient contents in leave and stem were in great change. 2) With the extension of growth period, DMD, NDFD and ADFD were decreased, there were no significant differences between 75 and 90 d ($P>0.05$), and the two periods were significantly higher than 105 and 120 d ($P<0.05$ or $P<0.01$). 3) With the extension of growth period, maximum GP showed decreasing tendency, there was no significant difference between 75 and 90 d ($P>0.05$), and the two periods were significantly lower than the other periods ($P<0.05$ or $P<0.01$), and 105, 120 and 135 d were 40.22%, 50.98% and 51.53% lower than 90 d, respectively; GP rate showed similar tendency. In conclusion, *Arundo donax* using as a forage grass should be cut before 90 d.

Key words: *Arundo donax*; different growth periods; nutrition value; *in vitro* gas production